

Obecnie sieć dystrybucyjna niskiego napięcia (LV) jest zintegrowana z siecią średniego napięcia (MV) za pomocą niezbędnych transformatorów dystrybucyjnych (DT), umożliwiając efektywną transformację napięcia przy zachowaniu wysokiej niezawodności. Niemniej jednak DT zapewniają jedynie regulację napięcia za pomocą przełącznika zaczepów, co sprawia, że regulacja napięcia jest wolna. W literaturze zaproponowano również transformator półprzewodnikowy (SST) jako alternatywę DT. Wprowadzie SST zapewnia bardzo dokładną i szybką regulację, niemniej jednak nie jest obecnie realistycznym rozwiązaniem dla sieci dystrybucyjnej, ponieważ jest kosztowny, ma złożoną konstrukcję i posiada niską moc zwarciovą.

Dlatego zaproponowano hybrydowy transformator dystrybucyjny (HDT) w celu wyeliminowania wad DT i SST. HDT łączy klasyczny DT z przekształtnikiem energoelektronicznym (PEC). Najpopularniejsza konfiguracja HDT obejmuje PEC szeregowy w celu zapewnienia regulacji napięcia oraz PEC równoległy w celu zapewnienia odpowiedniej jakości energii poprzez kompensację prądu.

Doświadczenie i wcześniejsze prace wnioskodawców wykazały, że niektóre konfiguracje HDT mają wady, takie jak konieczność zastosowania niskoczęstotliwościowych transformatorów sprzęgających (CT) w celu zapewnienia izolacji galwanicznej pomiędzy PEC szeregowym a siecią MV. Transformatory sprzęgające muszą być przewymiarowane, aby uniknąć nasycenia przy szybko zmieniającej się kompensacji napięcia. Ponadto transformatory sprzęgające zwiększają całkowitą masę i objętość HDT. Problem ten można rozwiązać, stosując izolowany stopień konwersji DC/DC oparty na wysokoczęstotliwościowych transformatorach. Rozwiązanie to zapewnia wysokosprawną konwersję energii, dwukierunkowy przepływ energii, wysoką gęstość mocy przekształtnika oraz zapewniają izolację galwaniczną.

Innym problemem związanym z HDT jest istnienie cyrkulującej mocy czynnej (CAPF) pomiędzy DT a PEC, co pogarsza sprawność całego systemu. CAPF można wyeliminować, podłączając źródło prądu stałego do HDT. Dlatego zastosowanie HDT jako PEC łączącego hybrydowe mikrosieci AC/DC jest naturalną metodą eliminacji CAPF. Temat ten nie był badany przez środowiska naukowe.

Celem pracy jest zaproponowanie nowej, wysokosprawnej energetycznie konfiguracji HDT, topologii PEC oraz algorytmu sterowania, który umożliwi działanie HDT jako PEC łączącego mikrosieci AC/DC, jednocześnie poprawiając jakość energii w sieci AC po stronie niskiego (LV) i średniego (MV) napięcia.

W pracy zostanie zaproponowana konfiguracja HDT odpowiednia do zastosowań w mikrosieciach AC/DC. HDT zostanie matematycznie opisany i kompleksowo przeanalizowany, uwzględniając CAPF, sprawność i ograniczenia fizyczne. Zostanie zaproponowane lokalne sterowanie dla HDT, które zapewni niezawodną pracę, uwzględniając regulację napięcia DC-Link, kompensację napięcia poprzez PEC szeregowy oraz kompensację prądów poprzez PEC równoległy. Zostanie zaprojektowana także warstwa nadrzędnego sterowania dla HDT, w celu efektywnego zarządzania przepływem energii pomiędzy AC/DC przy uniknięciu CAPF.

Zaproponowany HDT zostanie przebadany symulacyjnie przy użyciu oprogramowania PLECS, uwzględniając różne scenariusze, takie jak zrównoważone, niezrównoważone i zniekształcone napięcia sieciowe oraz prądy obciążenia. Ponadto zostanie przebadane przejście z trybu pracy na sieć elektroenergetyczną do trybu wyspowego i odwrotnie, dla którego wymagany jest odpowiedni algorytm synchronizacji.

Opracowany zoptymalizowany algorytm dla hybrydowej mikrosieci zostanie następnie przebadany symulacyjnie w czasie rzeczywistym w środowisku Hardware in the Loop w celu sprawdzenia rozbudowanej mikrosieci zawierającej wiele źródeł i obciążeń AC i DC. Zaproponowany HDT będzie tylko jednym z elementów symulowanej mikrosieci. Algorytm optymalizacyjny będzie działał jako sterowanie nadrzędne, uwzględniając wszystkie trzy warstwy sterowania podrzędnego.

Na koniec zostanie opracowany małoskalowy model laboratoryjny HDT, który zostanie przetestowany eksperymentalnie. Na tym etapie rozważane będzie jedynie sterowanie zaproponowanego HDT.

Innowacyjność badań polega na rozszerzeniu zastosowania HDT do pracy z sieciami DC. Zastosowanie HDT zostanie przebadane w zastosowaniu do mikrosieci LVAC i LVDC. Oprócz standardowych funkcjonalności, HDT będzie musiał działać jako PEC łączący mikrosieci DC i AC. Sterowanie HDT musi zapewniać efektywną pracę i inteligentne zarządzanie przepływem energii pomiędzy wszystkimi podsystemami, zapewniając jednocześnie bezpieczeństwo sieci elektroenergetycznej poprzez stabilizację częstotliwości, stabilizację napięcia AC i DC oraz umożliwiając pracę w trybie wyspowym. **Temat ten nie był badany dotychczas przez społeczność naukową.**

Pomimo tego, że HDT wydaje się bardziej dojrzałym rozwiązaniem dla przyszłych sieci dystrybucyjnych niż SST, badania wciąż są w toku. Dlatego oprócz już zbadanych możliwości sterowania HDT, zastosowanie ich w sieciach DC pozwoli HDT rozszerzyć funkcjonalność tego złożonego systemu. W związku z tym przejście od konwencjonalnych DT do inteligentnych rozwiązań, takich jak HDT, może przyspieszyć stworzenia bardziej zróżnicowanej, niezawodnej i efektywnej energetycznie przyszłej sieci dystrybucyjnej.